

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP04/014727

International filing date: 27 December 2004 (27.12.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: US
Number: 60/592,208
Filing date: 29 July 2004 (29.07.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 01 April 2005 (01.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

16. 03. 2005

PA 1252261

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

November 24, 2004

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

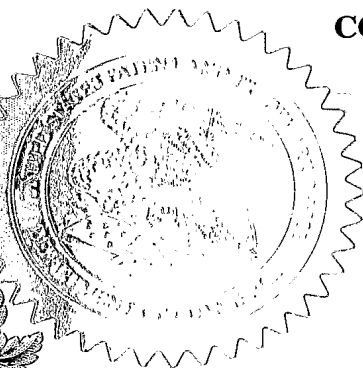
APPLICATION NUMBER: 60/592,208

FILING DATE: July 29, 2004

By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS



P. SWAIN
Certifying Officer



Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

Express Mail Label No. _____

INVENTOR(S)					
Given Name (first and middle [if any])		Family Name or Surname		Residence (City and either State or Foreign Country)	
Susanne		Beder		Oberkochen, Germany	
Alexander		Epple		Oberkochen, Germany	
Toralf		Gruner		Oberkochen, Germany	
Additional inventors are being named on the <u>1</u> separately numbered sheets attached hereto					
TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)					
Projection Apparatus for Use in Microlithography					
Direct all correspondence to: CORRESPONDENCE ADDRESS					
<input checked="" type="checkbox"/> Customer Number: <u>07278</u>					
OR					
<input type="checkbox"/> Firm or Individual Name <u>Melvin C. Garner</u>					
<u>DARBY & DARBY P.C.</u>					
Address <u>P.O. Box 5257</u>					
City <u>New York</u>		State <u>NY</u>		Zip <u>10150-5257</u>	
Country <u>US</u>		Telephone <u>(212) 527-7700</u>		Fax <u>(212) 753-6237</u>	
ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)					
<input checked="" type="checkbox"/> Specification Number of Pages <u>28</u>		<input type="checkbox"/> CD(s), Number _____			
<input checked="" type="checkbox"/> Drawing(s) Number of Sheets <u>15</u>		<input checked="" type="checkbox"/> Other <u>Certificate of Express Mailing (1 page);</u>			
<input checked="" type="checkbox"/> Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76		(specify): <u>Return Receipt Postcard</u>			
METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT					
<input type="checkbox"/> Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.					
<input checked="" type="checkbox"/> A check or money order is enclosed to cover the filing fees.					
<input checked="" type="checkbox"/> The Director is hereby authorized to charge filing fees or credit any overpayment to Deposit Account Number: <u>04-0100</u>					
<input type="checkbox"/> Payment by credit card. Form PTO-2038 is attached.					
FILING FEE AMOUNT (\$) <u>160.00</u>					
The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.					
<input checked="" type="checkbox"/> No. <input type="checkbox"/> Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are: _____					

[Page 1 of 2]

Respectfully submitted,

Date July 29, 2004

SIGNATURE
TYPED OR
PRINTED NAME
TELEPHONE

Melvin C. Garner

(212) 527-7717

REGISTRATION NO.
(if appropriate) 26,272

Docket Number: 01641/0201711-US0

USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

Express Mail Label No. _____

Dated: _____

PROVISIONAL APPLICATION COVER SHEET
Additional Page

PTO/SB/16 (08-03)

Approved for use through 07/31/2006. OMB 0651-0032

U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

Docket Number 01641/0201711-US0

INVENTOR(S)/APPLICANT(S)		
Given Name (first and middle (if any))	Family or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)
Bernard	Kneer	Oberkochen, Germany
Norbert	Wabra	Oberkochen, Germany

Under the Paperwork Reduction Act of 1995, no persons are required to respond to a collection of information unless it displays a valid OMB control number.

Approved for use through 7/31/2006. OMB 0651-0032
U.S. Patent and Trademark Office; U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE

FEE TRANSMITTAL for FY 2004

Effective 10/01/2003. Patent fees are subject to annual revision.

☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27

TOTAL AMOUNT OF PAYMENT (\$) 160.00

Complete if Known

Application Number	Not Yet Assigned
Filing Date	Concurrently Herewith
First Named Inventor	Susanne Beder
Examiner Name	Not Yet Assigned
Art Unit	N/A
Attorney Docket No.	01641/0201711-USO

METHOD OF PAYMENT (check all that apply)

☒ Check ☐ Credit Card ☐ Money Order ☐ Other ☐ None

☐ Deposit Account:

Deposit Account Number

04-0100

Deposit Account Name

Darby & Darby P.C.

The Director is authorized to: (check all that apply)

☐ Charge fee(s) indicated below ☒ Credit any overpayments

☐ Charge any additional fee(s) or any underpayment of fee(s)

☐ Charge fee(s) indicated below, except for the filing fee to the above-identified deposit account.

FEE CALCULATION

1. BASIC FILING FEE

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1001	770	2001	385	Utility filing fee	
1002	340	2002	170	Design filing fee	
1003	530	2003	265	Plant filing fee	
1004	770	2004	385	Reissue filing fee	
1005	160	2005	80	Provisional filing fee	160.00

SUBTOTAL (1) (\$) 160.00

2. EXTRA CLAIM FEES FOR UTILITY AND REISSUE

Total Claims	Extra Claims	Fee from below	Fee Paid
Independent Claims	** =	x	=
Multiple Dependent	** =	x	=

Large Entity		Small Entity		Fee Description
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)	
1202	18	2202	9	Claims in excess of 20
1201	86	2201	43	Independent claims in excess of 3
1203	290	2203	145	Multiple dependent claim, if not paid
1204	86	2204	43	** Reissue independent claims over original patent
1205	18	2205	9	** Reissue claims in excess of 20 and over original patent

SUBTOTAL (2) (\$) 0.00

**or number previously paid, if greater; For Reissues, see above

FEE CALCULATION (continued)

3. ADDITIONAL FEES

Large Entity		Small Entity		Fee Description	Fee Paid
Fee Code	Fee (\$)	Fee Code	Fee (\$)		
1051	130	2051	65	Surcharge - late filing fee or oath	
1052	50	2052	25	Surcharge - late provisional filing fee or cover sheet.	
1053	130	1053	130	Non-English specification	
1812	2,520	1812	2,520	For filing a request for <i>ex parte</i> reexamination	
1804	920*	1804	920*	Requesting publication of SIR prior to Examiner action	
1805	1,840*	1805	1,840*	Requesting publication of SIR after Examiner action	
1251	110	2251	55	Extension for reply within first month	
1252	420	2252	210	Extension for reply within second month	
1253	950	2253	475	Extension for reply within third month	
1254	1,480	2254	740	Extension for reply within fourth month	
1255	2,010	2255	1,005	Extension for reply within fifth month	
1401	330	2401	165	Notice of Appeal	
1402	330	2402	165	Filing a brief in support of an appeal	
1403	290	2403	145	Request for oral hearing	
1451	1,510	1451	1,510	Petition to institute a public use proceeding	
1452	110	2452	55	Petition to revive - unavoidable	
1453	1,330	2453	665	Petition to revive - unintentional	
1501	1,330	2501	665	Utility issue fee (or reissue)	
1502	480	2502	240	Design issue fee	
1503	640	2503	320	Plant issue fee	
1460	130	1460	130	Petitions to the Commissioner	
1807	50	1807	50	Processing fee under 37 CFR 1.17(q)	
1806	180	1806	180	Submission of Information Disclosure Stmt	
8021	40	8021	40	Recording each patent assignment per property (times number of properties)	
1809	770	2809	385	Filing a submission after final rejection (37 CFR 1.129(a))	
1810	770	2810	385	For each additional invention to be examined (37CFR 1.129(b))	
1801	770	2801	385	Request for Continued Examination (RCE)	
1802	900	1802	900	Request for expedited examination of a design application	

Other fee (specify)

*Reduced by Basic Filing Fee Paid

SUBTOTAL (3) (\$) 0.00

SUBMITTED BY

Name (Print/Type)	Melvin C. Garner	Registration No. (Attorney/Agent)	26,272	Telephone	(212) 527-7717
Signature	<i>FLYNN BARRESON</i> (53,970)	Date	July 29, 2004		

Express Mail Label No.

Dated: _____

{W:\01641\0201711us\00227482.DOC 10/23/2004 10:00:00 AM} }

Application No. (if known):

Attorney Docket No.: 01641/0201711-US0

Certificate of Express Mailing Under 37 CFR 1.10

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as Express Mail, Airbill No. EL 996 120894-US in an envelope addressed to:

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

on July 29, 2004
Date


Signature

D. Davis
Typed or printed name of person signing Certificate

Note: Each paper must have its own certificate of mailing, or this certificate must identify each submitted paper.

Provisional Application for Patent Cover Sheet (2 pages);
Fee Transmittal (1 page);
Application Data Sheet (3 pages)
Specification (21 pages);
Claims (6 pages);
Abstract (1 page);
15 Sheets of Drawings
Check No. 5635 for \$160.00
Return Receipt Postcard

{W:\01641\0201711us0\00227477.DOC PHOTOGRAPHED BY THE USPTO}

Mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage

=====

5 Diese Anmeldung umfasst und ergänzt die US Provisional Application 60/544,967 vom 13. Februar 2004 der Erfinder Susanne Beder, Alexander Epple, Toralf Gruner, Bernhard Kneer und Norbert Wabra, welche hiermit in vollem Umfang zum Teil auch dieser Anmeldung erklärt wird.

10 Die Erfindung betrifft mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlagen, wie sie zur Herstellung hochintegrierter elektrischer Schaltkreise und anderer mikrostrukturierter Bauelemente verwendet werden. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Projektionsobjektiv, das für einen Immersionsbetrieb ausgelegt ist, d.h. mit einer bildseitigen numerischen Apertur größer als 0.95 und mit einem Medium mit Brechungsindex größer als 1.0 (Immersionsmedium) angrenzend an die Bildebene, das zu belichtende Objekt, den Wafer.

15 Integrierte elektrische Schaltkreise und andere mikrostrukturierte Bauelemente werden üblicherweise hergestellt, indem auf ein geeignetes Substrat, bei dem es sich beispielsweise um einen Silizium-Wafer handeln kann, mehrere strukturierte Schichten aufgebracht werden. Zur Strukturierung der Schichten werden diese zunächst mit einem Photolack bedeckt, der für Licht eines bestimmten Wellenlängenbereiches empfindlich ist. Der Photolack kann mehrschichtig sein und auch zum Beispiel Antireflexschichten umfassen. Anschließend wird 20 der so beschichtete Wafer in einer Projektionsbelichtungsanlage belichtet. Dabei wird ein Muster aus Strukturen, das sich auf einer Maske befindet, auf den Photolack mit Hilfe eines Projektionsobjektivs abgebildet. Da der Abbildungsmaßstab dabei im allgemeinen kleiner als 1 ist, werden derartige Projektionsobjektive häufig auch als Reduktionsobjektive bezeichnet.

25 Nach dem Entwickeln des Photolacks wird der Wafer einem Ätz- oder Abscheideprozeß unterzogen, wodurch die oberste Schicht entsprechend dem Muster auf der Maske strukturiert wird. Der noch verbliebene Photolack wird dann von den verbleibenden Teilen der Schicht entfernt. Dieser Prozeß wird so oft wiederholt, bis alle strukturierten Schichten auf dem Wafer aufgebracht sind.

30 Eines der wesentlichen Ziele bei der Entwicklung der bei der Herstellung eingesetzten Projektionsbelichtungsanlagen besteht darin, Strukturen mit zunehmend kleineren Abmessungen lithographisch definieren zu können. Kleine Strukturen führen zu hohen Integrationsdichten, was sich im allgemeinen günstig auf die Leistungsfähigkeit der mit Hilfe derartiger Anlagen hergestellten mikrostrukturierter Bauelemente auswirkt.

35 Die Größe der definierbaren Strukturen hängt vor allem von dem Auflösungsvermögen des verwendeten Projektionsobjektivs ab. Da das Auflösungsvermögen der Projektionsobjektive sich mit kürzer werdenden Wellenlängen des Projektionslichts verbessert, besteht ein Ansatz zur Erhöhung des Auflösungsvermögens darin, Projektionslicht mit immer kürzeren Wellenlängen einzusetzen. Die kürzesten zur Zeit verwendeten oder näher untersuchten Wellenlängen liegen im tiefen ultravioletten Spektralbereich (DUV, *deep ultraviolet*) und 40 betragen 248nm, 193 nm und 157 nm.

Ein anderer Ansatz zur Erhöhung des Auflösungsvermögens geht von der Überlegung aus, in den Zwischenraum, der zwischen einer bildseitig letzten Linse des Projektionsobjektivs und dem Photolack oder einer anderen zu belichtenden lichtempfindlichen Schicht verbleibt, ein Medium (Immersionsflüssigkeit) mit hoher Brechzahl einzubringen. Projektionsobjektive, die für den Immersionsbetrieb ausgelegt sind und deswegen auch als Immersionsobjektive bezeichnet werden, können bildseitige numerische Aperturen von mehr als 1.0, zum Beispiel 1.3 oder 1.4, erreichen. Die Immersion ermöglicht jedoch nicht nur hohe numerische Aperturen und dadurch ein vergrößertes Auflösungsvermögen, sondern wirkt sich auch günstig auf die Schärfentiefe aus. Je größer die Schärfentiefe ist, desto weniger hoch sind die Anforderungen an eine exakte Positionierung des Wafers in der Bildebene des Projektionsobjektivs.

Bei der verkleinernden optischen Abbildung, insbesondere bei der Projektionslithographie, ist die numerische Apertur durch die Brechzahl des umgebenden Mediums im Bildraum beschränkt. Bei der Immersionslithographie ist die theoretisch mögliche Numerische Apertur also durch die Brechzahl des Immersionsmediums beschränkt. Das Immersionsmedium kann eine Flüssigkeit oder ein Festkörper sein.

Insbesondere wenn eine Flüssigkeit eingesetzt wird mit höherer Brechzahl als eines der verfügbaren Linsenmaterialien, das sind vorwiegend Quarz und Fluoridkristalle, hier besonders CaF_2 , besteht das Problem, daß die hohe Brechzahl des Immersionsmediums mit herkömmlicher Gestaltung der Abschlusslinse des Projektionsobjektivs mit planer Abschlussfläche nicht vollständig in eine höhere numerische Apertur umgesetzt werden kann. Das Problem liegt darin begründet, dass beim Übergang an Planflächen die (lokale) numerische Apertur durch das Medium mit der geringsten Brechzahl limitiert ist.

Die Apertur soll aus praktischen Gründen nicht beliebig nahe an die Brechzahl des letzten Mediums kommen, da die Ausbreitungswinkel dann relativ zur optischen Achse sehr groß werden. Es hat sich als praktisch erwiesen, wenn die Apertur etwa 95% der Brechzahl des letzten Mediums nicht wesentlich übersteigt. Dies entspricht Ausbreitungswinkeln von etwa 72° bezogen auf die optische Achse. Bei Wasser als Immersionsmedium für 193nm entspricht dies einer numerischen Apertur von $\text{NA} = 1.35$ ($n_{\text{H}_2\text{O}} = 1.43$). Mit einer Immersionsflüssigkeit mit einer Brechzahl von $n = 1.6$ sind damit numerische Aperturen von mindestens $\text{NA} = 1.5$ erreichbar. Dies entspricht aber bereits der Brechzahl von CaF_2 .

Für die letzte Linse kommen bei DUV (248nm bzw. 193nm Betriebwellenlänge) üblicherweise die Materialien Quarz (SiO_2) mit einer Brechzahl von $n_{\text{SiO}_2} = 1.56$ oder CaF_2 mit Brechzahlen von $n_{\text{CaF}_2} = 1.50$ zum Einsatz (Brechzahlen bei 193nm). Aufgrund der hohen Strahlungsbelastung in den letzten Linsenelementen wird insbesondere für die letzte Linse bei 193nm Kalziumfluorid bevorzugt, da Quarz durch die Strahlungsbelastung langfristig geschädigt würde. Damit erreicht man praktikabel eine numerische Apertur von etwa 1.425 (95% von $n = 1.5$). Nimmt man den Nachteil der Strahlungsschädigung in Kauf, erreicht man mit Quarz immerhin Aperturen von 1.48 (entspricht etwa 95% der Brechzahl von Quarz bei 193nm). Bei 248nm sind die Verhältnisse ähnlich.

Die hohen Winkel an der letzten Grenzfläche zwischen letztem optischem Element der Projektionsoptik und der Immersionsflüssigkeit führen zu einer starken Empfindlichkeit der Grenzfläche gegenüber Design- und Fertigungsfehlern. Es ist allgemein bekannt, dass beispielsweise die sphärische Aberration, wie allgemein alle Bildfehler, sehr stark mit den Einfallswinkeln an Grenzflächen zunehmen. Das Problem besteht also, ein hochaperturiges

Design anzugeben, das die Nachteile herkömmlicher Designs mit Immersionsmedien wie Wasser bzw. Linsen-Materialien bestehend aus Quarz oder CaF_2 umgeht.

5 Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Projektionsobjektiv, das zur Abbildung einer in einer Objektebene des Projektionsobjektivs anordenbaren Maske auf eine in einer Bildebene des Projektionsobjektivs anordenbare lichtempfindliche Schicht vorgesehen ist. Das Projektionsobjektiv ist für einen Immersionsbetrieb ausgelegt, bei dem eine Immersionsflüssigkeit an die lichtempfindliche Schicht angrenzt.

10 Erfindungsgemäß ist zur Reduktion der Einfallswinkel an der letzten Grenzfläche das Projektionsobjektiv so ausgelegt, daß die Immersionsflüssigkeit zur Objektebene hin konvex gekrümmt an das letzte Linsenelement des Projektionsobjektivs anschließt.

15 Die erfinderische Lösung besteht in einem strahlungsfesten Lithographieobjektiv mit bildseitiger numerischer Apertur vorzugsweise größer oder gleich $\text{NA} = 1.35$, bei dem wenigstens das letzte Linsenelement eine gekrümmte Abschlussfläche hat.

20 Bei dem in der Lithographie üblichen (betragsmäßigen) Abbildungsmaßstab von 4:1 ($|\beta| = 0.25$) beträgt die objektseitige NA in diesen Fällen $\text{NA}_{\text{obj}} \geq 0.3375$, besonders bevorzugt $\text{NA} \geq 0.36$.

25 Durch die konvexe Krümmung der Immersionsflüssigkeit zur Objektebene hin werden die möglichen Strahleinfallswinkel vergrößert, unter denen Projektionslicht auf die Grenzfläche zwischen dem bildseitig letzten optischen Element und der Immersionsflüssigkeit auftreten kann, ohne daß es dabei zu hohen Reflexionsverlusten kommt. Dies wiederum erlaubt eine höhere numerische Apertur, die nun auch über der Brechzahl des Materials liegen kann, aus dem das bildseitig letzte optische Element besteht. Begrenzt wird die numerische Apertur auf diese Weise nur noch durch die Brechzahl der Immersionsflüssigkeit, die an die lichtempfindliche Schicht angrenzt, nicht aber durch die Brechzahl des Materials, aus dem das bildseitig letzte optische Element besteht.

30 Die einfachste Möglichkeit, eine zur Objektebene hin konvex gekrümmte Immersionsflüssigkeit zu erzielen, besteht darin, die Immersionsflüssigkeit im Immersionsbetrieb unmittelbar an eine konkav gekrümmte bildseitige Fläche des bildseitig letzten optischen Elements angrenzen zu lassen. Die Krümmung der Immersionsflüssigkeit ist dann unveränderbar durch die Krümmung der bildseitig letzten Fläche des bildseitig letzten optischen Elements festgelegt.

35 Um ein unerwünschtes Abfließen der Immersionsflüssigkeit aus dem Hohlraum zu verhindern, der durch die konkav gekrümmte bildseitige Fläche des bildseitig letzten optischen Elements gebildet wird, kann diese Fläche umfangsseitig von einer Ablaufsperre umgeben sein. Hierbei kann es sich beispielsweise um einen Ring handeln, der mit dem bildseitig letzten optischen Element verbunden ist. Der Ring, der beispielsweise aus einem üblichen Linsenmaterial wie Quarzglas oder Kalziumfluorid (CaF_2), aber auch aus einer Keramik oder aus vergütetem Stahl bestehen kann, ist vorzugsweise innen mit einer Beschichtung versehen, die eine Kontamination der Immersionsflüssigkeit durch den Ring verhindert. Durch einen von außen ausgeübten geringen Druck oder durch Verhinderung des Eindringens von Luft oder Spülgasen wird dann verhindert, dass die Immersionsflüssigkeit aus dem konkaven Hohlraum ausläuft.

Bei diesen großen numerischen Aperturen werden nun die Winkel an einer herkömmlichen plan ausgelegten Abschlussfläche sehr groß bzw. ab numerischen Aperturen von der Größe der Brechzahl des letzten Mediums, beispielsweise im Falle von CaF_2 ab einer Apertur von $\text{NA} = 1.5$ werden die Strahlen beim Übergang in das höherbrechende Immersionsmedium total reflektiert. Die Strahlung kann jedoch in das Immersionsmedium nutzbringend eingekoppelt werden, wenn die letzte Grenzfläche gekrümmt ausgelegt ist. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Einfallswinkel bezüglich der Flächennormale an der letzten Grenzfläche 60° , besonders bevorzugt 70° nicht übersteigen, um die Justage-Empfindlichkeit des letzten optischen Elementes und die Empfindlichkeit gegenüber Störungen und Verunreinigungen an der letzten Grenzfläche so gering wie möglich zu halten. Besonders klein sind bei die Strahleinfallswinkel an der Grenzfläche zwischen dem bildseitig letzten optischen Element und der Immersionsflüssigkeit, wenn die bildseitige Fläche des bildseitig letzten optischen Elements zumindest im wesentlichen kugelschalenförmig (sphärisch) ist. Berechnungen haben ferner gezeigt, dass der Krümmungsradius der bildseitigen Fläche des bildseitig letzten optischen Elements dabei vorzugsweise zwischen dem 0,9fachen und dem 1,5fachen und vorzugsweise das 1,3fache des axialen Abstandes zwischen der bildseitigen Fläche des bildseitig letzten optischen Elements und der Bildebene beträgt.

Andererseits ist es vorteilhaft, den Krümmungsradius der letzten Abschlußfläche so groß wie möglich zu wählen, um eine Turbulenzen freie Strömung des Immersionsmediums zu ermöglichen. Eine Strömung zum Auswechseln des Immersionsmediums ist aus Gründen der Temperaturstabilität und der Reinheit nützlich. Ferner ist es aus Gründen der erhöhten Absorption von hochbrechenden Immersionsflüssigkeiten vorteilhaft, den längsten Lichtweg durch das Immersionsmedium möglichst gering zu halten. Schließlich ist ein großer Krümmungsradius der letzten Abschlußfläche des Projektionsobjektives vorteilhaft für die Zugänglichkeit der letzten Fläche für Reinigungszwecke.

Für die erfindungsgemäß möglichen sehr hohen numerischen Aperturen, die beispielsweise 1,6 und darüber betragen können, ist eine neuartige Konzeption des Projektionsobjektivs besonders vorteilhaft. Bevorzugt ist dabei ein katadioptrisches Projektionsobjektiv mit mindestens zwei gekrümmten Spiegeln, in dem mindestens zwei Zwischenbilder entstehen.

In der Vergangenheit wurden optische Projektionssysteme mit stetig steigender numerischer Apertur entwickelt. Aus physikalischen Gründen (Vermeidung von Totalreflexion) muß dabei die numerische Apertur für Systeme mit einem waferseitigen Arbeitsabstand in Luft (Brechzahl nahe bei 1.0) unterhalb von $\text{NA} 1.0$ liegen.

Bei derart hohen numerischen Aperturen ist die Bereitstellung eines endlichen Arbeitsabstands am Wafer mit großen Schwierigkeiten verbunden. Dies liegt daran, daß in dem Gesamtsystem die Abbesche Sinusbedingung korrigiert werden muß. Details hierzu sind in der US provisional application 60/494,123 vom 12. August 2003 beschrieben.

Eine Möglichkeit, die Korrektur der Sinusbedingung zu erleichtern, ist es, die geometrischen Strahlwinkel im Waferraum (Bildraum) zu verringern. Dies kann durch eine Erhöhung des Brechungsindex bei fester NA geschehen.

Bei Immersionssystemen ist eben der Brechungsindex im Waferraum deutlich gegenüber den Luftsystemen erhöht. Die Brechzahl ist eher mit der Brechzahl im Glas der Linsen vergleichbar. In der Tat zeigt sich, daß Immersionssysteme bei gleicher NA wie vergleichbare Trockensysteme deutlich einfacher zu korrigieren sind.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung.

Darin zeigen:

- 5 Figur 1 einen Meridionalschnitt durch eine
 mikrolithographische
 Projektionsbelichtungsanlage mit einem
 erfindungsgemäßen Projektionsobjektiv in einer
 stark vereinfachten, nicht maßstäblichen
10 Darstellung;
- Figur 2 eine vergrößerte Darstellung des bildseitigen
 Endes des in der Figur 1 gezeigten Projektions-
 objektivs;
- Figur 3 eine der Figur 2 entsprechende Darstellung, bei
15 der das Projektionsobjektiv jedoch zusätzlich
 mit einer Ablaufsperre versehen ist;
- Figur 4 das bildseitige Ende eines Projektionsobjektivs
 gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel, bei
 dem zwischen der Immersionsflüssigkeit und dem
20 bildseitig letzten optischen Element eine
 Zwischenflüssigkeit eingebracht ist;

Figur 5 einen Meridionalschnitt durch ein vollständiges katadioptrisches Projektionsobjektiv gemäß der vorliegenden Erfindung.

Figur 6 bis 8 weitere Beispiele erfindungsgemäßer
5 Objektive im maßstäblichen Meridionalschnitt.

Die Figur 1 zeigt einen Meridionalschnitt durch eine insgesamt mit 110 bezeichnete mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage in stark vereinfachter, nicht maßstäblicher Darstellung. Die Projektionsbelichtungsanlage 110 weist eine Beleuchtungseinrichtung 112 zur Erzeugung von Projektionslicht 113 auf, die eine Lichtquelle 114, eine mit 116 angedeutete Beleuchtungsoptik und eine Blende 118 umfaßt. Das Projektionslicht 113 hat in dem dargestellten Ausführungsbeispiel eine Wellenlänge von 193 nm.

Zur Projektionsbelichtungsanlage 110 gehört ferner ein Projektionsobjektiv 120, das eine Vielzahl von Linsen enthält, von denen der Übersichtlichkeit halber in der Figur 1 lediglich einige beispielhaft angedeutet und mit L1 bis L5 bezeichnet sind. Das Projektionsobjektiv 120 dient dazu, eine in einer Objektebene 122 des Projektionsobjektivs 120 angeordnete Maske 124 verkleinert auf eine lichtempfindliche Schicht 126 abzubilden. Die Schicht 126, die zum Beispiel aus einem Photolack bestehen kann und mehrlagig sein kann und auch Antireflexschichten umfassen kann, ist in einer Bildebene 128 des Projektionsobjektivs 120 angeordnet und auf einem Träger 130 aufgebracht.

In einen Zwischenraum 132, der zwischen der bildseitig letzten Linse L5 und der lichtempfindlichen Schicht 126 verbleibt, ist eine Immersionsflüssigkeit 134 eingebracht.

Besonders gut ist dies in der Figur 2 erkennbar, in der das bildseitige Ende des Projektionsobjektivs 120 vergrößert dargestellt ist. Die bildseitig letzte Linse L5 weist bildseitig eine Fläche 136 auf, die konkav gekrümmt ist. Der Zwischenraum 132 zwischen der bildseitig letzten Linse L5 und der lichtempfindlichen Schicht 126 erhält dadurch die Form eines Hohlraums.

Die Fläche 136 ist annähernd kugelschalenförmig (sphärisch), wobei der Krümmungsradius in der Figur 2 mit R bezeichnet ist. Der Krümmungsradius R beträgt dabei etwa das 1,3fache des axialen Abstandes d zwischen der bildseitig letzten Linse L5 und der lichtempfindlichen Schicht 126.

Die Immersionsflüssigkeit 134 hat eine Brechzahl n_L , die größer ist als die Brechzahl des Materials n_1 , aus dem die bildseitig letzte Linse L5 besteht. Wird als Material beispielsweise Quarzglas oder Kalziumfluorid verwendet, so ist eine Flüssigkeit zu wählen, deren Brechzahl n_L über 1,56 bzw. 1,5 liegt. Erreichen läßt sich dies beispielsweise durch Zusätze von Sulfaten, Alkalien wie z.B. Cäsium oder Phosphaten zu Wasser, wie dies auf der Internetseite www.eetimes.com/semi/news/OEG20040128S0017 beschrieben ist. Diese Immersionsflüssigkeiten haben auch bei Wellenlängen im ultravioletten Spektralbereich eine ausreichende Transparenz und Beständigkeit. Ist die Projektionsbelichtungsanlage 110 für längere Wellenlängen ausgelegt, z.B. für Wellenlängen im sichtbarem Spektralbereich, so können auch herkömmliche Immersionsflüssigkeiten mit hoher Brechzahl wie beispielsweise Zedernholzöl, Schwefelkohlenstoff oder Monobromnaphthalin als Immersionsflüssigkeit verwendet werden.

Da die Immersionsflüssigkeit zur Objektebene 122 hin eine konvex gekrümmte Grenzfläche 139 zur bildseitig letzten Linse L5 hat, treten an dieser Grenzfläche 139 nur relativ kleine Strahleinfallswinkel auf. Dies ist in der Figur 2 beispielhaft für Randstrahlen 113a und 113b gezeigt. Entsprechend gering sind dadurch Reflexionsverluste an dieser Grenzfläche.

5 Dadurch können auch Strahlen mit großen Öffnungswinkeln zu einer optischen Achse 138 des Projektionsobjektivs 120 zur Abbildung beitragen, so daß sich mit dem Projektionsobjektiv 120 numerische Aperturen erzielen lassen, die bis an die Brechzahl n_L der Immersionsflüssigkeit 134 heranreichen können. Wäre die Grenzfläche 139 hingegen plan, wie dies im Stand der Technik üblich ist, so wären diese Randstrahlen in der bildseitig
10 letzten Linse L5 nicht ausbreitungsfähig.

Die Erfindung ist jedoch auch mit Immersionsmedien, deren Brechungsindex kleiner ist als derjenige der letzten Linse vorteilhaft, da auch in diesem Fall die geringeren Winkel an der Grenzfläche zu verbessertem und störungsärmerem Übergang des Lichts führen.

15 In der Figur 3 ist ein Projektionsobjektiv 120' gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel in einer an die Figur 2 angelehnten Darstellung gezeigt. Gleiche Teile sind dabei mit identischen Bezugsziffern gekennzeichnet.

Das Projektionsobjektiv 120' unterscheidet sich von dem in den Figuren 1 und 2 gezeigten Projektionsobjektiv 120 lediglich dadurch, daß die bildseitig letzte Linse L5 zur lichtempfindlichen Schicht 126 hin dichtend mit einem Ring 140 verbunden ist, der die
20 Funktion einer Abflusssperre für die Immersionsflüssigkeit 134 hat. Eine solche Abflusssperre kann insbesondere bei starken Krümmungen der Fläche 136 der bildseitig letzten Linse L5 erforderlich sein, da der Zwischenraum 132 dann in Richtung der optischen Achse 138 eine große maximale Ausdehnung hat. Entsprechend hoch ist dementsprechend der hydrostatische Druck der Immersionsflüssigkeit 134. Ohne eine Abflusssperre kann
25 dieser Druck eventuell dazu führen, dass die Immersionsflüssigkeit 134 aus dem Hohlraum in den umgebenden Spalt zwischen dem Projektionsobjektiv 120 und der lichtempfindlichen Schicht 126 gedrückt wird und auf diese Weise den Hohlraum verlässt.

Der Ring 140 kann beispielsweise aus einem üblichen Linsenmaterial wie Quarzglas oder Kalziumfluorid, aber auch aus anderen Materialien wie etwa InvarTM-Nickellegierung oder
30 Edelstahl, Glaskeramik oder einer Keramik bestehen.

Figur 4 zeigt die geometrischen Verhältnisse an der letzten Linsenfläche. Ein Aperturstrahl mit maximalem Aperturwinkel u ist zum Randpunkt des Bildfeldes der Höhe h zur optischen Achse OA eingezeichnet. Der Strahl hat an der letzten Grenzfläche einen Einfallswinkel i' und einen Ausfallswinkel i . Die Schnittweite zwischen dem Scheitelpunkt der letzten Fläche und der Bildebene, in der die Oberseite des mit z.B. Photolack beschichteten Wafers
35 angeordnet wird, beträgt s .

Projektionssysteme werden grundsätzlich durch zwei Größen charakterisiert, die (bildseitige) numerische Apertur $n \sin u$ und die Größe (Durchmesser eines Kreises um die optische Achse) $2h$ des abzubildenden Feldes. Aus dem Wert der bildseitigen NA können
40 zum einen geometrische Eigenschaften abgeleitet werden, um einen Durchtritt des Lichtes durch die letzte Linse sowie durch das Immersionsmedium sicherstellen zu können. Ferner folgen auch aus der Erfahrung des optischen Designs Anforderungen an die letzte Linse, die

in der Regel strenger als die physikalisch notwendigen sind. So sollte der Einfallswinkel i' an der letzten Grenzfläche einen bestimmten Wert nicht überschreiten, der beispielsweise bei etwa 75° liegt, besonders vorteilhaft ist es, wenn der Wert für i' 70° nicht übersteigt. Die Erfahrung zeigt nämlich, daß für ein System mit zunehmenden Inzidenzwinkeln der Strahlen an den brechenden Flächen des Systems die Komplexität (Schwierigkeit bei der Korrektur und Sensitivität gegenüber Fertigungstoleranzen und Veränderungen im Gebrauch) zunimmt.

Heutzutage gelten Trockensysteme bis etwa NA 0.95 als realisierbar, d.h. die numerische Apertur sollte 95% der Brechzahl des Mediums, welches der Bildebene direkt vorangeht, nicht überschreiten. In einem solchen System treten maximale Inzidenzwinkel von etwa 70° auf, insbesondere an den letzten, bildnahen (wafernahen) Flächen, aber auch an einzelnen weiteren Linsenflächen des Systems.

Daher ist erfindungsgemäß davon auszugehen, dass auch in einem bevorzugten Immersionssystem an äquivalenten Stellen die Inzidenzwinkel unter diesen Werten zu halten sind, um die Realisierbarkeit sicherzustellen. Ist die bildseitige numerische Apertur des Immersionsobjektiv größer als 95% der Brechzahl der letzten Linse, so ist es besonders vorteilhaft, die letzte Linsenfläche als eine Hohlfläche auszulegen, um an dieser Fläche den Einfallswinkel zu verringern. Es kann also vorteilhaft sein, dass die letzte Linsenfläche vor der Immersionsflüssigkeit nicht plan, insbesondere konkav ist.

Dies kann jedoch zu verstärkten Problemen der Strömungsmechanik, Kontamination und Temperatursensibilität des Immersionsraums führen: die Immersionsflüssigkeit kann in einem stark konvexen Hohlraum eingeschlossen sein, ein Purgung – Ausstausch mit dem Ziel der Temperaturstabilisierung und Dekontamination – wird erschwert.

Daher soll die letzte Linsenfläche andererseits nicht zu stark gekrümmt sein. Erfindungsgemäß wurde daher erkannt, dass es besonders vorteilhaft ist, wenn die folgende Bedingung eingehalten wird : $0.95 > \sin(i') > 0.85$.

Bei der Immersionslithographie mit Wasser kann die letzte Fläche des Objektivs auch durch eine Planfläche gebildet werden, allerdings kann es aus verschiedenen Gründen, auch zur Entspannung des optischen Designs, auch da vorteilhaft sein, bereits bei geringeren numerischen Aperturen die letzte Linsenfläche gekrümmt auszulegen.

Wird jedoch ein Immersionsmedium verwendet, dessen Brechungsindex größer ist als derjenige der Abschlusslinse, so ist es in jedem Falle vorteilhaft; die Abschlussfläche konkav auszulegen. Im folgenden wird eine Formel angegeben, welche die geeignete Krümmung p in Abhängigkeit von $NA = n \sin u$, Arbeitsabstand s , Bildhöhe h und den Brechzahlen n' der Linse und n der Flüssigkeit angibt, die geeignet ist, damit der Sinus des Einfallswinkels i' ein bestimmtes vorteilhaftes und praktikables Maß nicht überschreitet. Ein solcher Wert wurde gefunden mit $\sin(i') < \kappa$, wobei $\kappa = 0.95$. Mit dem Brechungsgesetz folgt daraus die Forderung:

$$(1) \quad \left| \frac{n}{n'} \sin i' \right| < \kappa$$

Nach einfachen geometrischen Überlegungen kann daraus abgeleitet werden :

$$(2) \quad \left| \frac{n}{n'} (s\rho - 1) \sin u \right| > \kappa$$

woraus als Bedingung für die minimale Flächenkrümmung folgt :

$$(3) \quad \rho > \frac{\left(1 - \frac{n' \cdot \kappa}{NA}\right)}{s}$$

- 5 Berücksichtigt man bei einem endlichen Bildfeld zusätzlich die Randstrahlen des äußersten Feldpunkts, genügt es dazu, in den obigen Formeln die Schnittweite s durch s' mit

$$(4) \quad s' = s - \frac{h}{\tan u}$$

- 10 zu ersetzen. Für eine endliche Feldhöhe h folgt damit für die minimale Krümmung ρ :

$$(5) \quad \rho > \left(1 - \frac{n' \cdot \kappa}{NA}\right) / \left(s - \frac{h}{\tan u}\right)$$

- 15 Die Figur 5 zeigt einen Meridionalschnitt durch ein konkretes Ausführungsbeispiel des in den Figuren 1 und 2 gezeigten Projektionsobjektivs 120. Die Designdaten des Projektionsobjektivs sind in der Tabelle 1 aufgeführt; Radien und Dicken sind in Millimetern angegeben. In der Figur 5 weisen die Ziffern oberhalb des Projektionsobjektivs auf ausgewählte Flächen optischer Elemente hin. Flächen, die mit Gruppen kurzer waagerechter Linien gekennzeichnet sind, sind asphärisch gekrümmt. Die Krümmung dieser Flächen ist durch die nachfolgende Asphärenformel beschrieben:

$$z = \frac{ch^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k) c^2 h^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12} + Fh^{14} + Gh^{16} + Hh^{18} + Jh^{20}$$

- 20 Dabei sind z die Pfeilhöhe der betreffenden Fläche parallel zur optischen Achse, h der radiale Abstand von der optischen Achse, $c = 1/R$ die Scheitelkrümmung der betreffenden Fläche mit R als dem Krümmungsradius, k die konische Konstante und A, B, C, D, E, F, G, H und J die in der Tabelle 2 aufgeführten Asphärenkonstanten. Für die konische Konstante k gilt bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel $k = 0$.
- 25 Das Projektionsobjektiv 120 enthält zwei asphärische Spiegel S1 und S2, zwischen denen zwei (nicht optimal korrigierte) Zwischenbilder entstehen. Das Projektionsobjektiv 120 ist ausgelegt für eine Wellenlänge von 193 nm und eine Brechzahl n_L der Immersionsflüssigkeit von 1,6. Der Abbildungsmaßstab des Projektionsobjektivs 120 beträgt $\beta = -0,25$ und die numerische Apertur $NA = 1,4$. Durch einige zusätzliche Verbesserungen lässt sich aber
- 30 ohne weiteres auch eine numerische Apertur NA erzielen, die knapp bis an die Brechzahl des Immersionsmediums heranreicht und somit nur geringfügig kleiner ist als 1,6.

In weiteren Ausführungsbeispielen werden Projektionsobjektive mit einer erfindungsgemäß gekrümmten letzten Linsenfläche angegeben, wobei der Strahlengang im Projektionsobjektiv nunmehr durch plane Faltspiegel gefaltet ist. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel bei 193nm, Abbildung 7 ein Beispiel bei 157nm Wellenlänge des verwendeten Laserlichts. In beiden Beispielen beträgt die numerische Apertur $NA = 1.4$, das Immersionsmedium hat eine Brechzahl von $n = 1.6$.

In Abbildung 8 ist schließlich ein Designbeispiel mit $NA = 1.4$ angegeben, in dem der Krümmungsradius der letzten Linsenfläche groß ausgelegt wurde, so dass die Krümmung gering ist und das Purging erleichtert wird.

10 In der Vergangenheit wurden optische Projektionssysteme mit stetig steigender numerischer Apertur entwickelt. Aus physikalischen Gründen (Vermeidung von Totalreflexion) muß dabei die numerische Apertur für Systeme mit einem waferseitigen Arbeitsabstand in Luft (Brechzahl nahe bei 1.0) unterhalb von $NA 1.0$ liegen.

15 Bei derart hohen numerischen Aperturen ist die Bereitstellung eines endlichen Arbeitsabstands am Wafer mit großen Schwierigkeiten Verbunden. Dies liegt daran, daß in dem Gesamtsystem die Abbesche Sinusbedingung korrigiert werden muß. Details hierzu sind in der E203204, angemeldet in der P43127US, beschrieben.

20 Eine Möglichkeit, die Korrektur der Sinusbedingung zu erleichtern, ist es, die geometrischen Strahlwinkel im Waferraum zu verringern. Dies kann durch eine Erhöhung des Brechungsindex bei fester NA geschehen.

Bei Immersionssystemen ist eben der Brechungsindex im Waferraum deutlich gegenüber den Luftsystemen erhöht. Die Brechzahl ist eher mit der Brechzahl im Glas der Linsen vergleichbar. In der Tat zeigt sich, daß Immersionssysteme bei gleicher NA wie vergleichbare Trockensysteme deutlich einfacher zu korrigieren sind.

25 Ein weiterer Vorteil bei Verwendung von Immersionsflüssigkeiten liegt in der Tatsache begründet, daß hiermit numerische Aperturen größer 1.0, nämlich physikalisch sinnvoll bis zum Brechungsindex der Immersion, realisiert werden können. Bei Verwendung von Wasser ($n=1.436$ bei $\lambda=193$ nm) könnte man also theoretisch eine NA von knapp über 1.4 realisieren.

30 In der Nähe dieser Grenze steigt jedoch der geometrische Strahlwinkel des Randstrahls erneut stark an, und die Korrektur der Sinusbedingung bei planer letzter Linsenfläche des Objektivs ist, vergleichbar mit den oben beschriebenen Trockensystemen, wieder deutlich erschwert.

35 Um die geometrischen Strahlwinkel am Wafer zu reduzieren hilft es erneut, die Brechzahl des Immersionsmediums zu erhöhen, falls ein Immersionsmittel mit dementsprechenden Eigenschaften verfügbar ist. Somit werden die geometrischen Strahlwinkel bei konstanter num. Apertur erneut verringert.

Erhöht man den Brechungsindex der Immersion so stark, daß er höher ist als der Brechungsindex der davorliegenden Linse, so kann es im allgemeinen günstig sein, die letzte Linsenfläche stark hohl auszuführen, d.h. eine stark konvexe Immersionsschicht („Flüssigkeitslinse“) auszubilden.

40 Ist der Wert der numerischen Apertur des Objektivs größer als der Brechungsindex der letzten Linse, so ist die konkave Rückseite der letzten Linse aus physikalischen Gründen (Vermeidung von Totalreflexion) sogar unabdingbar. Dies wurde bereits in der E203460 formuliert

45 Aber auch wenn die numerische Apertur sowohl unterhalb der Brechzahl der letzten Linse als auch der Immersion liegt wird aufgrund der hohen Brechzahl der Immersion bei einer stark konvexen Immersionslinse die effektive NA in der letzten Glaslinse des Objektivs verringert. Dies wirkt sich

günstig auf die Korrigierbarkeit der Sinusbedingung und somit des gesamten Korrekturzustands des Objektivs aus.

Typischerweise bildet sich als Grenzfläche zwischen letzter Linse und Immersion eine um den Wafer nahezu konzentrische Fläche aus, d.h. die Immersionslinse bekommt starke Brechkraft.

- 5 Ein weiterer Vorteil einer solchen stark konvexen Immersionslinse ist, daß der Richtungskosinus des Randstrahls in der letzten Linse verringert wird. Ist diese Linse ihrerseits wieder Vorderseitig konvex, so kann die vorletzte Linse die Strahlen leichter „einfangen“, die Strahlen können schneller in die Blende umgelenkt werden, es resultiert ein kleinerer Blendendurchmesser.
- 10 Es ist jedoch zu vermuten, daß eine stark konvexe Immersionslinse zu Problemen bei der Realisierung der Systeme führen kann, insbesondere hinsichtlich
- Purgung-Konzept: ein stetiger Austausch der Immersionsflüssigkeit ist deutlich erschwert, da sich der stark erhabene Immersionsraum nur schlecht spülen läßt
 - Kontamination: Bei einem eingeschränkten Austausch der Immersionsflüssigkeit können sich Schmutzpartikel im Immersionsraum fangen
 - 15 • Aufheizung der Immersionsflüssigkeit: Bei schlechtem Austausch der Flüssigkeit ist zu erwarten, daß man aufgrund der hohen Strahlungsintensität am Wafer eine lokale Aufheizung der Immersionsflüssigkeit erhält, welche zu starken Aberrationen führen (entsprechend LensHeating Effekten).

- 20 Aus diesen Gründen wird es technisch vorteilhafter sein, die letzte Linsenfläche nicht zu krumm auszubilden.

Die drei Ausführungsbeispiele Fig 6 bis 8 haben folgendes gemein:

- Bildseitige numerische Apertur $NA = 1.40$
- Der Brechungsindex der Immersion $n_i = 1.60$ ist stets größer als der Brechungsindex des letzten Glases: $n_i > n_g$
- 25 • Bei Fig .6 handelt es sich um ein nicht-achromatisiertes Design für die Wellenlänge 193 nm:
 - Die Immersionsschicht ist stark erhaben und im wesentlichen konzentrisch um den Wafer.
- 30 • In der letzten Linse ist CaF_2 mit $n_g = 1.50$
- Die Korrektur der Wellenfront beträgt rund 20 mλ
- Bei Fig. 7 handelt es sich um ein vollachromatisiertes Design für die Wellenlänge 157 nm:
 - Die Immersionsschicht ist stark erhaben und im wesentlichen konzentrisch um den Wafer.
- 35 • In der letzten Linse ist CaF_2 mit $n_g = 1.56$
- Die Korrektur der Wellenfront beträgt rund 40 mλ

Bei Fig.8 handelt es sich um ein nicht-achromatisiertes Design für die Wellenlänge 193 nm:

- Die Immersionsschicht ist deutlich flacher als bei Fig. 6 und weit von „konzentrisch um den Wafer“ entfernt. Es resultiert daraus ein maximaler i-Winkel von 0.92 auf der letzten Linsenfläche.
- In der letzten Linse ist CaF₂ mit $n_G=1.50$
- Die Korrektur der Wellenfront beträgt rund $50\text{ m}\lambda$

Im Vergleich von Fig. 6 und Fig. 8 zeigt sich, daß die stark konvexe Immersionsschicht an sich das Design sehr erleichtert.

Ferner ist es schwierig, bei einer flacheren Immersionsschicht den Arbeitsabstand zu verringern. Es ist also ein erfindungsgemäß vorgesehener Kompromiss der Krümmung angezeigt.

Es wurde auch festgestellt, dass für das Design eine Regel gilt: „verhindere zu stark divergierende Strahlengänge am Wafer, wenn man vom Wafer zum Retikel hin denkt“. Dies kann etwa über eine Beschränkung des meridionalen Richtungskosinus erfolgen. Seien k , l , m die drei Richtungskosinus des Randstrahls und n der Brechungsindex der Fläche, so daß gilt $k^2+l^2+m^2=n^2$, dann gibt es keinen optischen Raum im Objektiv, in dem $(k^2+l^2)/n^2 > K_0$ ist. Dabei ist für K_0 zu fordern, dass $K_0=0.95$, besser noch 0.85 ist. Auch dies wird durch die Verwendung einer hochbrechenden, konvexen Immersionslinse am Wafer unterstützt und verhindert große Linsendurchmesser in der Nähe der Blendenebene im wafernächsten Teilobjektiv.

Es versteht sich, dass die vorliegende Erfindung nicht auf die Verwendung in katadioptrischen Projektionsobjektiven der vorstehend beschriebenen Typen beschränkt ist. Ebenso gut kann die Erfindung auch in Projektionsobjektiven mit anders gefalteten Strahlengängen oder anderer Zahl von Zwischenbildern oder auch in rein refraktiven Objektiven mit oder ohne Zwischenbild eingesetzt werden. Das Bildfeld kann zentriert zur optischen Achse oder dezentriert (off axis) liegen. Beispiele für geeignete Objektivdesigns, von denen erfindungsgemäße Abwandlungen ausgehen können, finden sich unter anderem in der US 2002/0196533 A1, der WO 150171 A1, der WO 02/093209 A2 und der US 6496306 A der Anmelderin (assignee), deren Offenbarungsgehalte hiermit vollumfänglich mit aufgenommen werden.

Der Gegenstand der Erfindung umfasst auch alle nicht expliziten Kombinationen von Merkmalen aus den verschiedenen Ansprüchen und aus der Beschreibung.

Tabelle 1: Designdaten zu Fig.5

Fläche	Radius	Asphäre	Dicke	Material
Objektebene	0		37,648	
1	210,931		21,995	SiO ₂
2	909,02		1,605	
3	673,572		22,728	SiO ₂
4	-338,735	x	33,19	
5	130,215	x	8,994	SiO ₂
6	119,808		36,001	
7	216		40,356	SiO ₂
8	-210,59		0,939	
9	97,24		49,504	SiO ₂
10	216,208	x	8,164	
12	-65,704		49,734	SiO ₂
Blende	0		49,302	
13	-113,325		55,26	
14	-6210,149	x	70,31	SiO ₂
15	-195,536		0,962	
16	3980,16		65,997	SiO ₂
17	-473,059		277,072	
18	-225,942	x	246,731	Spiegel
19	193,745	x	294,329	Spiegel
20	-338,56	x	17,389	SiO ₂
21	-206,244		8,884	
22	-148,97		34,064	SiO ₂
23	129,921	x	40,529	
24	-2704,885		33,192	SiO ₂
25	-195,599		0,946	
26	-794,214	x	30,169	SiO ₂
27	-479,39		24,236	
28	-311,778	x	100,056	SiO ₂
29	-159,333		28,806	
30	309,839		43,609	SiO ₂
31	836,077	x	0,951	
32	225,096		55,667	SiO ₂
33	687,556		0,945	
34	154,575		64,278	SiO ₂
35	911,8	x	0,932	
36	89,986		44,143	SiO ₂
37	199,475	x	0,878	
38	61,984		9,635	SiO ₂
39	35,475		34,43	Flüssigkeit

Tabelle 2: Asphärenkonstanten zu Tab.1, Fig. 5

Fläche 4		Fläche 5		Fläche10	
A	5,36225288E-08	A	2,53854010E-08	A	4,51137087E-07
B	-5,17992581E-12	B	-1,22713179E-11	B	2,46833840E-11
C	8,49599769E-16	C	1,21417341E-15	C	5,78496960E-15
D	-7,57832730E-20	D	-1,92474180E-19	D	-4,39101683E-18
E	3,59228710E-24	E	2,08240691E-23	E	-5,64853356E-22
F	-9,16722201E-29	F	-9,29539601E-28	F	4,95744749E-26
Fläche 14		Fläche 18		Fläche 19	
A	-8,48905023E-09	A	1,04673033E-08	A	-4,11099367E-09
B	1,45061822E-13	B	1,34351117E-13	B	-9,91828838E-14
C	-6,34351367E-18	C	1,03389626E-18	C	-7,93614779E-19
D	2,84301572E-22	D	5,16847878E-23	D	-1,66363646E-22
E	-8,24902650E-27	E	-1,23928686E-27	E	5,56486530E-27
F	1,27798308E-31	F	3,09904827E-32	F	-1,79683490E-31
Fläche 20		Fläche 23		Fläche 26	
A	1,14749646E-07	A	-2,87603531E-08	A	-4,35420789E-08
B	-8,19248307E-12	B	-9,68432739E-12	B	-6,70429494E-13
C	8,78420843E-16	C	6,88099059E-16	C	-4,05835225E-17
D	-1,39638210E-19	D	-8,70009838E-20	D	-1,10658303E-20
E	2,09064504E-23	E	9,59884320E-24	E	4,80978147E-25
F	-2,15981914E-27	F	-5,07639229E-28	F	-5,35014389E-29
Fläche 28		Fläche 31		Fläche 35	
A	-2,70754285E-08	A	4,38707762E-09	A	1,73743303E-08
B	-1,36708653E-12	B	-3,69893805E-13	B	1,60994523E-12
C	-2,46085956E-17	C	-4,93747026E-18	C	-1,71036162E-16
D	2,26651081E-21	D	4,05461849E-22	D	1,26964535E-20
E	-1,20009586E-25	E	-7,59674606E-27	E	-5,77497378E-25
F	9,28622501E-30	F	5,58403314E-32	F	1,55390733E-29
				G	-1,78430224E-34
Fläche 37					
A	1,04975421E-07				
B	1,94141448E-11				
C	-2,31145732E-15				
D	4,57201996E-19				
E	-3,92356845E-23				
F	2,35233647E-27				

Tabelle 3 zu Beispiel Figur 6

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMI DIAM.
0	0.0000	32.0000			65.50
1	0.0000	0.0000			80.45
2	332.4480	18.9959	SIO2	1.560318	84.22
3	27083.8930	17.5539			85.42
4	-253.5666	26.7129	SIO2	1.560318	86.06
5	-179.3607	164.1318			90.72
6	1920.0084	34.5089	SIO2	1.560318	111.13
7	-279.4103	0.9461			111.59
8	213.6767	34.3917	SIO2	1.560318	103.48
9	17137.3629	26.7484			100.67
10	-208.9766	9.4997	SIO2	1.560318	99.22
11	-609.1513	0.9500			97.67
12	734.0560	18.8742	SIO2	1.560318	95.00
13	-1380.9253	24.2008			93.32
14	0.0000	231.0887			81.98
15	252.7510	74.6720	SIO2	1.560318	126.43
16	1098.5274	0.9492			121.38
17	268.9906	50.1845	SIO2	1.560318	119.28
18	-463.5300	1.0915			117.08
19	697.8278	30.0054	SIO2	1.560318	106.59
20	292.0140	120.0163			94.90
21	0.0000	9.9914			82.23
22	0.0000	-100.0083	REFL	1.560318	142.10
23	-178.0803	-45.0048	SIO2	1.560318	115.52
24	-663.9291	-95.3149			113.38
25	-237.9404	-15.0000	SIO2	1.560318	115.72
26	-166.3412	-152.4364			111.11
27	222.8026	-15.0000	SIO2	1.560318	127.22
28	539.8416	-94.3687			138.91
29	364.8709	94.3687	REFL		167.04
30	539.8416	15.0000	SIO2	1.560318	138.91
31	222.8026	152.4364			127.22
32	-166.3412	15.0000	SIO2	1.560318	111.11
33	-237.9404	95.3149			115.72
34	-663.9291	45.0048	SIO2	1.560318	113.38
35	-178.0803	100.0083			115.52
36	0.0000	94.5942			122.31
37	0.0000	-23.8903			91.10
38	0.0000	20.0000			179.89
39	254.8239	29.5175	SIO2	1.560318	96.82
40	-2985.0549	36.7407			96.62
41	200.4128	45.9683	SIO2	1.560318	106.20
42	-666.1976	170.5500			105.01
43	-95.1516	15.0000	SIO2	1.560318	77.96
44	-643.9252	55.6492			95.09
45	-175.8508	-55.6492	REFL		109.51
46	-643.9252	-15.0000	SIO2	1.560318	95.09
47	-95.1516	-170.5500			77.96
48	-666.1976	-45.9683	SIO2	1.560318	105.01
49	200.4128	-12.1735			106.20
50	0.0000	-24.5646			90.83
51	-2985.0549	-29.5175	SIO2	1.560318	96.62
52	254.8239	-20.0000			96.82

53	0.0000	180.1673	REFL		134.73
54	-148.5117	25.7491	SIO2	1.560318	95.86
55	327.9861	43.1843			116.84
56	-496.1113	30.0070	SIO2	1.560318	124.28
57	-252.6773	19.1777			130.89
58	1365.3904	68.1411	SIO2	1.560318	165.17
59	-284.3746	73.5313			172.58
60	754.4880	93.5313	SIO2	1.560318	234.19
61	-588.1067	54.2510			235.10
62	357.9132	85.3268	SIO2	1.560318	221.99
63	-762.8649	0.9929			220.72
64	304.8598	57.6484	SIO2	1.560318	181.91
65	1098.9629	0.9340			177.48
66	143.0811	62.6047	SIO2	1.560318	127.33
67	347.6273	0.9010			117.47
68	79.6669	50.1800	CAF2	1.501403	73.25
69	36.1540	21.2194	IMMO16	1.600000	31.82
70	0.0000				19.38

Tabelle 4

ASPHERISCHE KONSTANTEN Zu Tabelle 2 und Fig.6

SRF	3	19	24	28	30
K	0	0	0	0	0
C1	4.047232E-09	-4.175853E-08	-3.889430E-08	6.661869E-09	6.661869E-09
C2	8.449241E-13	-5.621416E-13	2.260825E-13	2.899240E-13	2.899240E-13
C3	5.603175E-17	-2.909466E-19	9.880822E-18	-1.932302E-17	-1.932302E-17
C4	-4.004583E-21	3.690043E-22	-2.672567E-22	1.602360E-21	1.602360E-21
C5	-8.168767E-25	2.119217E-26	4.717688E-26	-6.342246E-26	-6.342246E-26
C6	2.123279E-29	-9.535588E-31	-3.817055E-30	1.183564E-30	1.183564E-30
SRF	34	39	44	46	52
K	0	0	0	0	0
C1	-3.889430E-08	-2.037803E-08	-1.157857E-08	-1.157857E-08	-2.037803E-08
C2	2.260825E-13	-6.612137E-13	1.455623E-12	1.455623E-12	-6.612137E-13
C3	9.880822E-18	2.840028E-17	-5.746524E-17	-5.746524E-17	2.840028E-17
C4	-2.672567E-22	-4.931922E-21	1.261354E-21	1.261354E-21	-4.931922E-21
C5	4.717688E-26	4.142905E-25	4.054615E-25	4.054615E-25	4.142905E-25
C6	-3.817055E-30	-1.562251E-29	-2.761361E-29	-2.761361E-29	-1.562251E-29
SRF	58	62	65	67	
K	0	0	0	0	
C1	-1.679180E-08	-1.483428E-08	-9.489171E-09	-1.782977E-08	
C2	-5.846864E-14	-2.269457E-14	5.001612E-13	9.574096E-13	
C3	7.385649E-18	4.944523E-18	-1.283531E-17	7.878477E-17	
C4	-5.142028E-22	-1.410026E-22	-8.674473E-23	-7.167182E-21	
C5	1.479187E-26	1.643655E-27	7.103644E-27	2.682224E-25	
C6	-2.189903E-31	-7.668842E-33	-7.251904E-32	-3.423260E-30	

Tabelle 5 zum Beispiel Figur 7

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMIDIAM.
0	0.0000	32.0000			65.50
1	0.0000	0.0000			80.46
2	3568.5495	29.3610	CAFUV	1.555560	80.77
3	-306.4778	50.8080			84.99
4	-495.7015	32.5298	CAFUV	1.555560	97.37
5	-161.1181	81.4155			99.50
6	188.0753	36.2525	CAFUV	1.555560	93.00
7	-1013.7352	6.1886			90.93
8	288.3482	26.9703	CAFUV	1.555560	82.17
9	872.7887	32.5801			74.60
10	0.0000	47.8395			57.76
11	-76.3176	12.9591	CAFUV	1.555560	65.40
12	-82.8195	72.8834			71.21
13	494.0581	30.0025	CAFUV	1.555560	105.98
14	500.2689	0.9499			109.01
15	210.1705	55.9335	CAFUV	1.555560	115.54
16	-462.2471	0.9442			114.96
17	191.5029	28.1484	CAFUV	1.555560	104.19
18	469.5739	3.8083			100.65
19	313.4359	9.4935	CAFUV	1.555560	99.24
20	161.6230	115.1964			91.07
21	0.0000	14.7967			90.40
22	0.0000	-100.0183	REFL		206.37
23	-247.2670	-56.5211	CAFUV	1.555560	148.25
24	1546.1350	-403.3917			147.84
25	500.0000	-25.0000	CAFUV	1.555560	142.88
26	-2059.5717	-87.3199			147.68
27	173.4701	-25.0000	CAFUV	1.555560	148.30
28	823.5657	-65.7941			193.66
29	295.8639	65.7941	REFL		204.70
30	823.5657	25.0000	CAFUV	1.555560	193.66
31	173.4701	87.3199			148.30
32	-2059.5717	25.0000	CAFUV	1.555560	147.68
33	500.0000	403.3917			142.88
34	1546.1350	56.5211	CAFUV	1.555560	147.84
35	-247.2670	100.0183			148.25
36	0.0000	49.8789			125.86
37	0.0000	20.8278			89.12
38	0.0000	20.0000			149.02
39	215.5222	38.8898	CAFUV	1.555560	91.59
40	-548.9606	360.6137			90.02
41	-126.6780	15.0000	CAFUV	1.555560	120.92
42	-567.9480	48.8335			169.01
43	-224.2817	-48.8335	REFL		171.87
44	-567.9480	-15.0000	CAFUV	1.555560	169.01
45	-126.6780	-314.8668			120.92
46	0.0000	-45.7487			81.94
47	-548.9606	-38.8898	CAFUV	1.555560	90.02
48	215.5222	-20.0000			91.59
49	0.0000	195.8787	REFL		133.74
50	-121.2718	15.1499	CAFUV	1.555560	97.18
51	529.2614	24.3014			127.08
52	-8438.5548	64.5537	CAFUV	1.555560	137.42

53	-202.6253	25.2464			142.97
54	-1447.9251	63.0634	CAFUV	1.555560	168.91
55	-254.3816	80.5189			174.93
56	783.5550	57.0370	CAFUV	1.555560	203.06
57	-939.7625	70.4486			203.12
58	358.1334	55.4484	CAFUV	1.555560	186.96
59	5861.2627	0.9614			184.33
60	259.9889	36.5173	CAFUV	1.555560	161.62
61	371.5128	0.8975			156.47
62	134.7936	77.4909	CAFUV	1.555560	127.53
63	767.8631	0.7967			119.07
64	72.9080	48.3195	CAFUV	1.555560	70.97
65	29.7284	27.0563	IMMO16	1.600000	31.25
66	0.0000				19.39

Tabelle 6
ASPHERISCHE KONSTANTEN Zu Tab.5 Fig. 7

SRF	3	9	19	24	26
K	0	0	0	0	0
C1	2.172737E-08	8.983641E-08	-5.825972E-08	-1.605889E-08	-2.779244E-10
C2	1.718631E-12	-5.996759E-12	-6.306762E-13	4.504977E-16	-3.062909E-14
C3	1.514127E-16	6.363808E-16	-2.783920E-17	3.596627E-21	1.861506E-18
C4	-2.716770E-22	-3.998733E-20	-1.594705E-21	2.792862E-22	-2.425072E-22
C5	-1.008203E-24	-5.130142E-24	2.956685E-25	-1.885291E-26	1.114443E-26
C6	-1.157181E-28	1.266998E-28	-1.064251E-29	3.351694E-31	-2.553147E-31

SRF	28	30	32	34	39
K	0	0	0	0	0
C1	4.632690E-09	4.632690E-09	-2.779244E-10	-1.605889E-08	-1.815667E-08
C2	-3.213384E-14	-3.213384E-14	-3.062909E-14	4.504977E-16	-2.488991E-13
C3	7.229632E-20	7.229632E-20	1.861506E-18	3.596627E-21	2.824306E-17
C4	2.100335E-23	2.100335E-23	-2.425072E-22	2.792862E-22	-4.697303E-21
C5	-5.592560E-28	-5.592560E-28	1.114443E-26	-1.885291E-26	3.415362E-25
C6	6.249291E-33	6.249291E-33	-2.553147E-31	3.351694E-31	-9.509214E-30

SRF	42	44	48	54	59
K	0	0	0	0	0
C1	-9.514646E-09	-9.514646E-09	-1.815667E-08	-1.031964E-08	8.72E-09
C2	1.336864E-13	1.336864E-13	-2.488991E-13	-1.081794E-13	-2.71E-13
C3	-4.722253E-18	-4.722253E-18	2.824306E-17	6.909628E-18	1.07E-17
C4	1.120165E-22	1.120165E-22	-4.697303E-21	-3.648077E-22	-6.07E-22
C5	-1.895395E-27	-1.895395E-27	3.415362E-25	9.693996E-27	1.40E-26
C6	1.489410E-32	1.489410E-32	-9.509214E-30	-1.380442E-31	-1.10E-31

SRF	61	63
K	0	0
C1	-2.45E-08	4.37E-08
C2	6.62E-13	-8.96E-13
C3	-1.32E-17	4.21E-17
C4	6.68E-22	-3.88E-21
C5	-1.47E-26	2.01E-25
C6	1.14E-31	-3.84E-30

- Tabelle 7 Beispiel Figur 8

SURF	RADIUS	THICKNESS	MATERIAL	INDEX	SEMIDIAM.
0	0.0000	32.0000			65.50
1	0.0000	0.0000			80.45
2	361.5503	30.0063	SIO2	1.560318	83.87
3	3766.1854	29.9775			86.87
4	-313.0243	17.3177	SIO2	1.560318	90.72
5	-211.2930	182.7697			93.19
6	-709.0001	29.1631	SIO2	1.560318	120.83
7	-255.7121	13.1321			122.28
8	261.1325	45.4463	SIO2	1.560318	118.65
9	-728.3260	29.9790			116.70
10	-209.1405	18.3161	SIO2	1.560318	113.35
11	-2675.8307	4.7872			113.10
12	421.7508	25.2987	SIO2	1.560318	112.42
13	-5576.5014	21.4392			111.29
14	0.0000	355.5491			103.93
15	249.8044	71.3667	SIO2	1.560318	163.42
16	-4441.8089	32.5158			161.31
17	247.2422	37.4261	SIO2	1.560318	135.08
18	797.4045	43.7199			130.81
19	665.9047	30.0078	SIO2	1.560318	108.60
20	318.3673	120.0233			96.83
21	0.0000	9.9881			79.40
22	0.0000	-100.0079	REFL		122.85
23	-145.3105	-45.0039	SIO2	1.560318	107.21
24	-705.3999	-7.6524			104.90
25	-149.2286	-15.0000	SIO2	1.560318	100.69
26	-107.5358	-125.6003			91.50
27	398.2665	-15.0000	SIO2	1.560318	101.84
28	419.3212	-44.0802			104.16
29	398.6744	44.0802	REFL		107.66
30	419.3212	15.0000	SIO2	1.560318	104.16
31	398.2665	125.6003			101.84
32	-107.5358	15.0000	SIO2	1.560318	91.50
33	-149.2286	7.6524			100.69
34	-705.3999	45.0039	SIO2	1.560318	104.90
35	-145.3105	100.0079			107.21
36	0.0000	103.9571			130.84
37	0.0000	-33.2893			99.43
38	0.0000	20.0000			210.81
39	250.9147	31.5356	SIO2	1.560318	101.23
40	-1057.0829	21.3930			102.52
41	202.0288	47.3927	SIO2	1.560318	111.71
42	-941.7186	197.8094			110.48
43	-88.9067	15.0000	SIO2	1.560318	72.67
44	-573.5619	23.1569			88.88
45	-142.4338	-23.1569	REFL		89.38
46	-573.5619	-15.0000	SIO2	1.560318	88.88
47	-88.9067	-197.8094			72.67
48	-941.7186	-47.3927	SIO2	1.560318	110.48
49	202.0288	-11.3868			111.71
50	0.0000	-9.9896			92.32
51	-1057.0829	-31.5356	SIO2	1.560318	102.52
52	250.9147	-20.0000			101.23

9091.5

15

13.02.2004

-	53	0.0000	209.4519	REFL		135.07
	54	-133.9081	9.4987	SIO2	1.560318	97.71
	55	406.9979	48.9711			119.82
-	56	-523.9173	41.1332	SIO2	1.560318	135.89
	57	-224.0541	29.8664			142.55
	58	1367.6570	94.8234	SIO2	1.560318	191.42
	59	-271.7647	8.1788			198.87
	60	667.9279	83.6854	SIO2	1.560318	232.81
	61	-808.5395	140.7841			233.01
	62	286.6775	82.6895	SIO2	1.560318	201.18
	63	-1096.4782	0.9668			198.76
	64	350.5350	35.6242	SIO2	1.560318	164.87
	65	884.2685	0.9173			159.58
	66	115.9293	64.9068	SIO2	1.560318	108.97
	67	412.6826	0.8041			99.04
	68	57.1792	41.0408	CAF2	1.501403	55.06
	69	99.9106	10.1713	IMMO16	1.600000	30.68
	70	0.0000				19.40

Tabelle 8
ASPHERSICHE KONSTANTEN Zu Tab.7 Fig. 8

SRF	3	19	24	28	30
K	0	0	0	0	0
C1	-1.001534E-09	-4.128786E-08	-4.510495E-08	1.339665E-08	1.339665E-08
C2	6.144615E-13	-4.980750E-13	6.742821E-13	1.482582E-12	1.482582E-12
C3	1.247768E-16	2.649167E-18	3.004246E-17	-1.857530E-16	-1.857530E-16
C4	-1.048854E-20	5.315992E-22	2.453737E-21	3.433994E-20	3.433994E-20
C5	-4.463818E-25	-6.165935E-27	-3.687563E-25	-2.905941E-24	-2.905941E-24
C6	6.154983E-30	1.945950E-32	-1.491146E-30	1.237374E-28	1.237374E-28
SRF	34	39	44	46	52
K	0	0	0	0	0
C1	-4.510495E-08	-2.582589E-08	-1.589920E-08	-1.589920E-08	-2.582589E-08
C2	6.742821E-13	-4.336537E-13	1.112204E-12	1.112204E-12	-4.336537E-13
C3	3.004246E-17	5.153775E-17	-2.537422E-17	-2.537422E-17	5.153775E-17
C4	2.453737E-21	-7.829187E-21	-5.148293E-21	-5.148293E-21	-7.829187E-21
C5	-3.687563E-25	5.696031E-25	8.322199E-25	8.322199E-25	5.696031E-25
C6	-1.491146E-30	-1.711252E-29	-2.485886E-29	-2.485886E-29	-1.711252E-29
SRF	58	62	65	67	
K	0	0	0	0	
C1	-1.313863E-08	-1.809441E-08	-1.821041E-09	-4.599046E-10	
C2	1.817234E-14	-2.428724E-14	4.495016E-13	3.983791E-12	
C3	2.355838E-18	1.168088E-17	-7.637258E-18	-1.382332E-16	
C4	-1.447425E-22	-4.545469E-22	-1.610477E-21	-2.858839E-21	
C5	3.333235E-27	7.354258E-27	7.379400E-26	4.614539E-25	
C6	-4.355238E-32	-4.766510E-32	-9.483899E-31	-1.411510E-29	

Patentansprüche

=====

1. Projektionsobjektiv einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (110) zur Abbildung einer in einer Objektebene (122) des Projektionsobjektivs (120; 120'; 120'')
5 anordenbaren Maske (124) auf eine in einer Bildebene (128) des Projektionsobjektivs anordenbare lichtempfindliche Schicht (126), wobei das Projektionsobjektiv (120; 120'; 120'') für einen Immersionsbetrieb ausgelegt ist, bei dem eine
10 Immersionsflüssigkeit (134) an die lichtempfindliche Schicht (126) angrenzt, wobei die Brechzahl der Immersionsflüssigkeit (134) vorzugsweise größer ist als die Brechzahl eines bildseitig letzten optischen Elements (L5; L5'')
15 des Projektionsobjektivs (120; 120'; 120''),
dadurch gekennzeichnet, daß

20 das Projektionsobjektiv (120; 120'; 120'') so ausgelegt ist, daß die Immersionsflüssigkeit (134) im Immersionsbetrieb zur Objektebene (122) hin konvex gekrümmt ist.

2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Immersionsflüssigkeit (134)
25 im Immersionsbetrieb unmittelbar an eine konkav

gekrümmte bildseitige Fläche (136) des bildseitig
letzten optischen Elements (L5) angrenzt.

3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 2, dadurch
gekennzeichnet, daß die gekrümmte bildseitige
5 Fläche (136) des bildseitig letzten optischen
Elements (L5) umfangsseitig von einer Ablaufsperre
(140) umgeben ist.
4. dadurch gekennzeichnet, daß die Ablaufsperre als
Ring (140) ausgebildet ist, der mit dem bildseitig
10 letzten optischen Element (L5) verbunden ist.
5. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 2 bis
4, dadurch gekennzeichnet, daß die bildseitige
Fläche (136) des bildseitig letzten optischen
Elements (L5) zumindest im wesentlichen
15 kugelschalenförmig ist.
6. Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, dadurch
gekennzeichnet, daß der Krümmungsradius (R) der
bildseitigen Fläche (136) des bildseitig letzten
optischen Elements (L5) zwischen dem 0,9fachen und
20 dem 1,5fachen und vorzugsweise das 1,3fache des
axialen Abstandes (d) zwischen der bildseitigen
Fläche (136) des bildseitig letzten optischen
Elements (L5) und der Bildebene (128) beträgt.

7. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich im Immersionsbetrieb zwischen dem bildseitig letzten optischen Element (L5'') des Projektionsobjektivs (120'') und der Immersionsflüssigkeit (134) eine nicht mit der Immersionsflüssigkeit (134) mischbare Zwischenflüssigkeit (142) befindet, die in einem elektrischen Feld zu der Immersionsflüssigkeit (134) eine gekrümmte Grenzfläche (139, 139') ausbildet.
8. Projektionsobjektiv nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenflüssigkeit (142) elektrisch leitfähig und die Immersionsflüssigkeit (134) elektrisch isolierend ist.
9. Projektionsobjektiv nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenflüssigkeit (142) im wesentlichen die gleiche Dichte wie die Immersionsflüssigkeit (134) hat.
10. Projektionsobjektiv nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Immersionsflüssigkeit (134) ein Öl und die Zwischenflüssigkeit (142) Wasser ist.
11. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 7 bis 10, gekennzeichnet durch eine Elektrode (146) zur Erzeugung des elektrischen Feldes.

12. Projektionsobjektiv nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektrode eine ringförmige Kegelelektrode (146) ist, die zwischen dem bildseitig letzten optischen Element (L5'') und der Bildebene (128) angeordnet ist.

13. Projektionsobjektiv nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß sich durch Verändern einer an die Elektrode (146) angelegten Spannung die Krümmung der Grenzfläche (139, 139') verändern läßt.

14. Projektionsobjektiv nach einem der Ansprüche 7 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfläche (139, 139') zwischen der Zwischenflüssigkeit (142) und der Immersionsflüssigkeit (139) zumindest näherungsweise kugelschalenförmig ist.

15. Projektionsobjektiv nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Projektionsobjektiv (120) ein katadioptrisches Objektiv mit mindestens zwei gekrümmten Spiegeln (S1, S2) ist, das mindestens zwei Zwischenbilder aufweist.

16. Mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage zur Herstellung mikrostrukturierter Bauteile, gekennzeichnet durch ein Projektionsobjektiv (120;

120'; 120'') nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

17. Verfahren zur mikrolithographischen Herstellung mikrostrukturierter Bauelemente mit folgenden Schritten:

a) Bereitstellen eines Trägers (130), auf den zumindest teilweise eine Schicht (126) aus einem lichtempfindlichen Material aufgebracht ist;

10 b) Bereitstellen einer Maske (124), die abzubildende Strukturen enthält;

c) Bereitstellen einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem Projektionsobjektiv (120; 120', 120'') nach einem der Ansprüche 1 bis 15;

15 d) Projizieren wenigstens eines Teils der Maske (124) auf einen Bereich auf der Schicht (126) mit Hilfe der Projektionsbelichtungsanlage.

18. Mikrostrukturiertes Bauelement, das nach einem Verfahren nach Anspruch 17 hergestellt ist.

19. Mikrolithographisches Objektiv mit einer konkaven objektseitig letzten Linse, angepasst zur Verwendung mit einem Immersionsmedium zwischen letzter Linse und

Bildebene, in der insbesondere ein Wafer, oder ein Photolack angeordnet ist, bei dem der Sinus des maximalen Inzidenzwinkels eines Lichtstrahles an der Grenzfläche von letzter Linse zum Immersionsmedium in der Linse zwischen 0.5 und 0.98, vorzugsweise zwischen 0.85 und 0.95 beträgt.

Zusammenfassung

=====

Bei einem für einen Immersionsbetrieb ausgelegten Projektionsobjektiv (120; 120', 120'') einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage (110) ist die Brechzahl der Immersionsflüssigkeit (134) größer als die Brechzahl eines bildseitig letzten optischen Elements (L5; L5''). Das Projektionsobjektiv ist so ausgelegt, daß die Immersionsflüssigkeit im Immersionsbetrieb zur Objektebene (122) hin konvex gekrümmt ist. Dies kann z.B. dadurch erreicht werden, daß die Immersionsflüssigkeit unmittelbar an eine konkav gekrümmte bildseitige Fläche (136) des bildseitig letzten optischen Elements (L5) angrenzt. Bei einer alternativen Ausgestaltung befindet sich zwischen dem bildseitig letzten optischen Element (L5'') des Projektionsobjektivs (120'') und der Immersionsflüssigkeit (134) eine nicht mit der Immersionsflüssigkeit mischbare Zwischenflüssigkeit (142), die in einem elektrischen Feld zu der Immersionsflüssigkeit (134) infolge des sog. "Electrowetting"-Effekts eine gekrümmte Grenzfläche (139, 139') ausbildet. Infolge der konvexen Krümmung der Immersionsflüssigkeit zur Objektebene hin ist die erzielbare numerische Apertur nur durch die Brechzahl der Immersionsflüssigkeit, nicht aber durch die Brechzahl des bildseitig letzten optischen Elements begrenzt.

(Figur 2)

Schicht angrenzt. Erfindungsgemäß ist zur der Zeichnung. Darin zeigen:

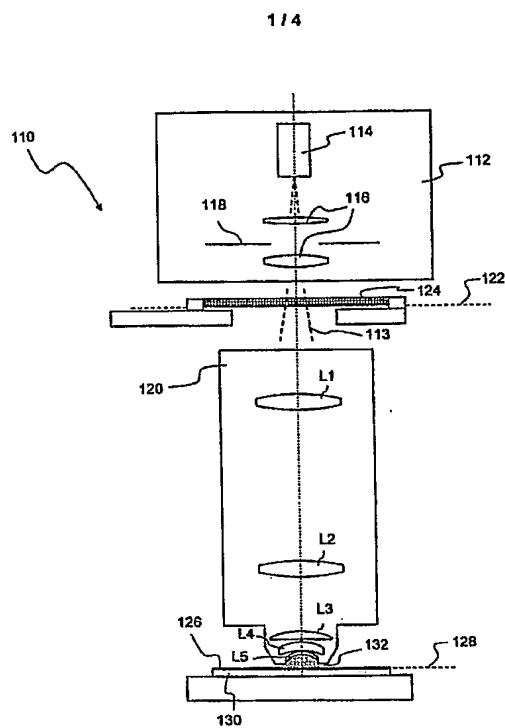


Fig. 1

9091.5

Die Figur 1 zeigt einen

214

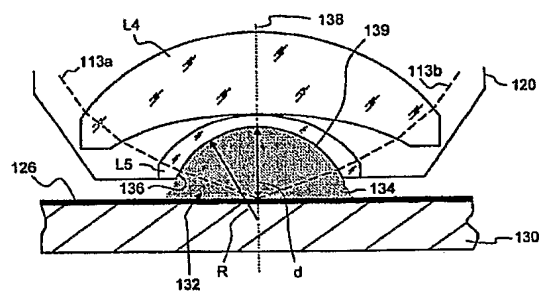


Fig. 2

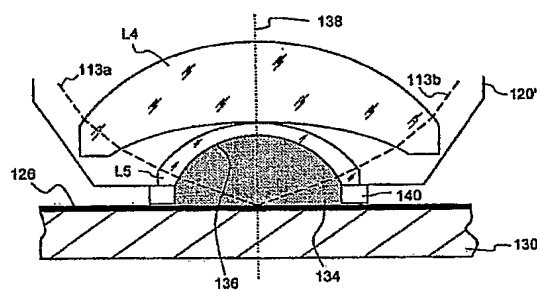
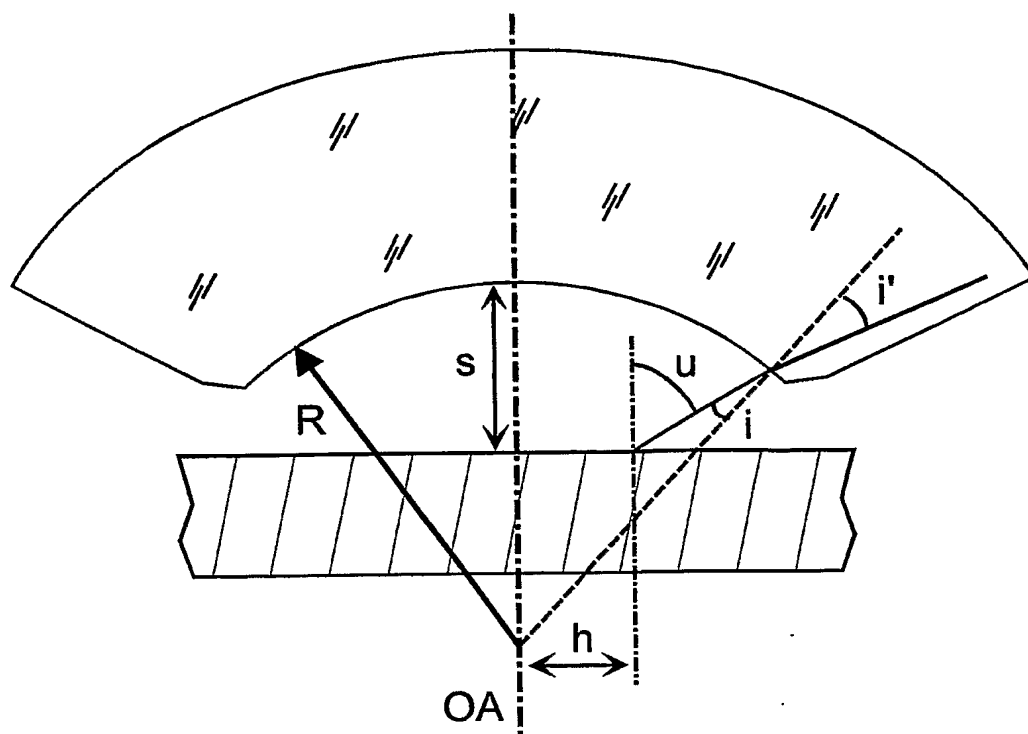


Fig. 3

9091.5

Die Fläche 136 ist annähernd kugelschalenförmig, wobei der Krümmungsradius in der Figur 2 einer



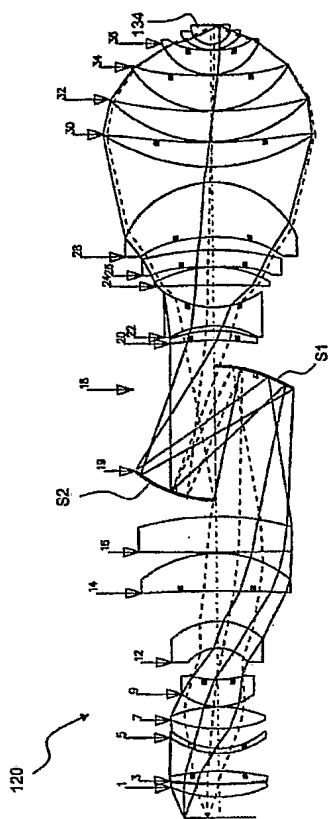


Fig. 5

numerische Apertur $NA = 1.4$, das Immersionsmedium hat eine Brechzahl von $n = 1.6$.

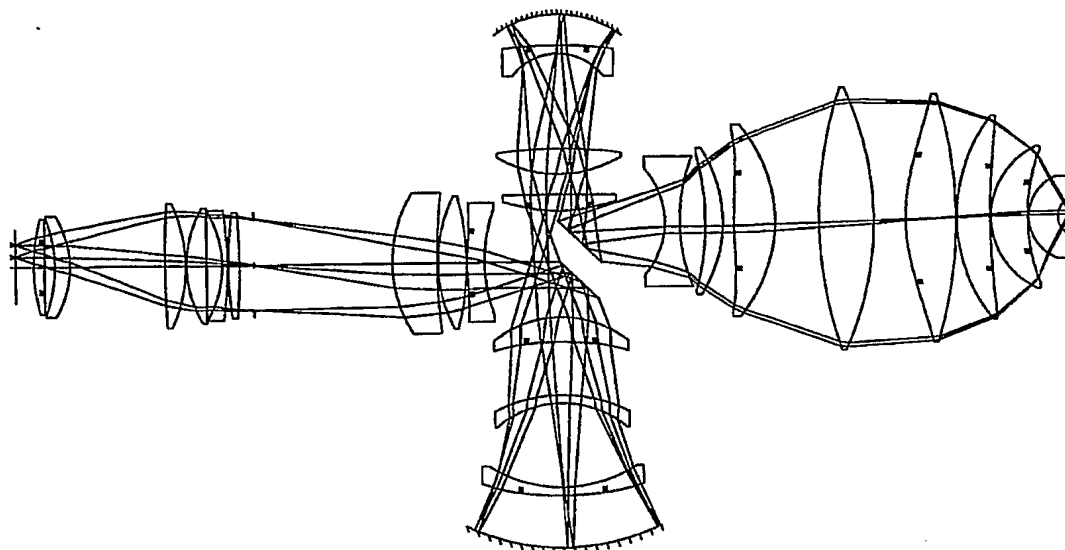
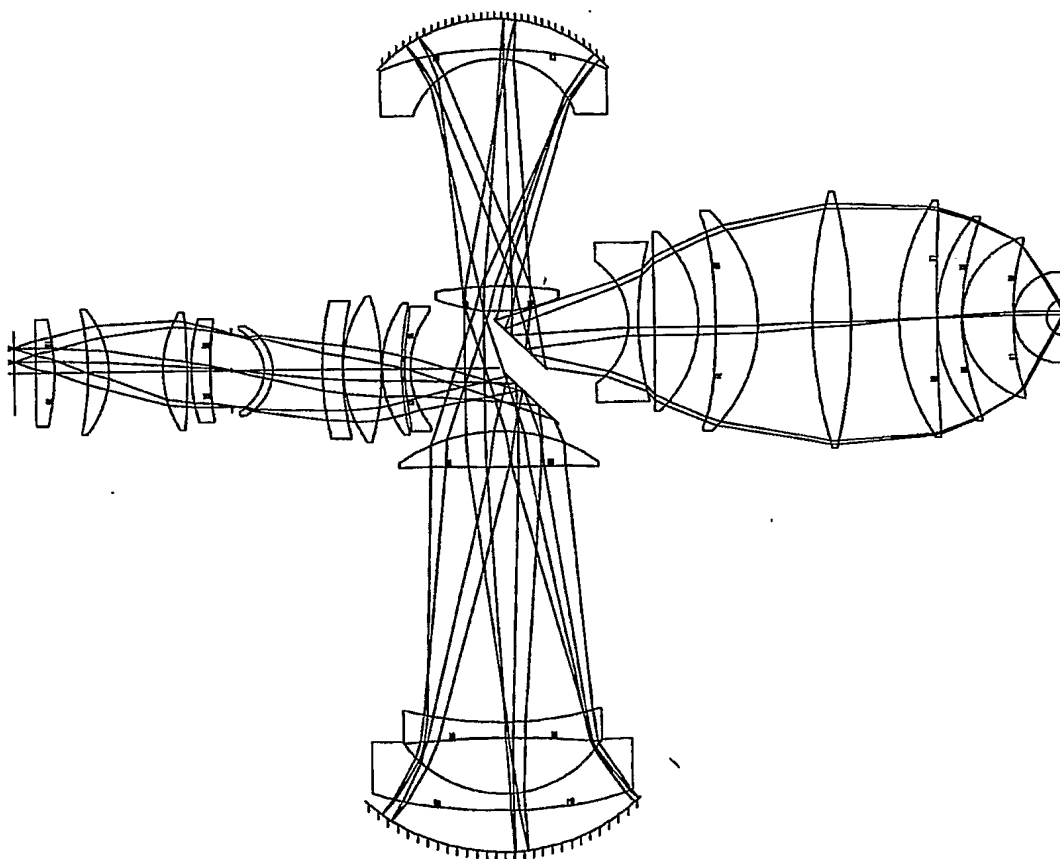


Abbildung 6



Krümmungsradius der letzten Linsenfläche minimal ausgelegt wurde.

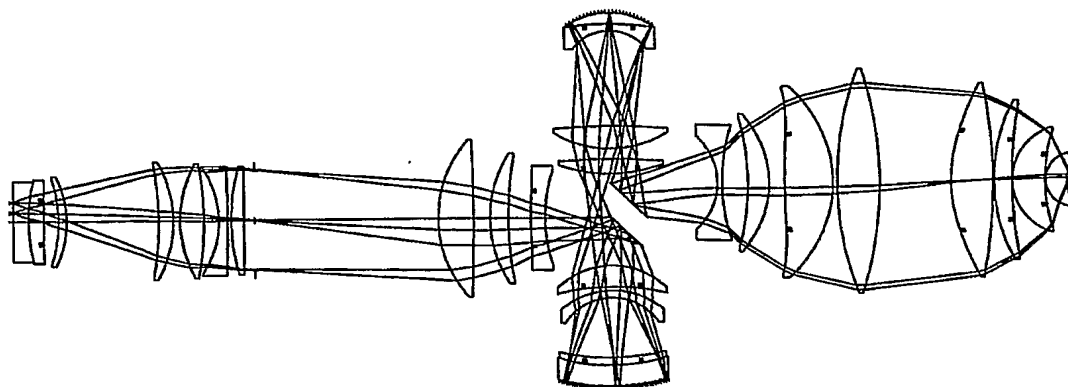


Abbildung 8

aufgenommen wird.

48.3195

• Beispiel (Figur 8)

•
•

0	0.0000	32.0000		65.50
---	--------	---------	--	-------

1	0.0000	0.0000		80.45
2	361.5503	30.0063	1.560318	83.87
3	3766.1854	29.9775		86.87

4
5
6

1.560318
1.560318

90.72
93.19
120.83

7			122.28
8		1.560318	118.65

10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61

62
63
64

1.560318

164.87

C6 -4.355238E-32 -4.766510E-32 -9.483899E-31 -1.411510E-29